

Texte de l'annexe :

Méthodes détaillées pour <Potentiel inexploité : cartographie des points chauds de la régénération forestière en vue d'améliorer la qualité de l'air>.

atténuer le changement climatique et la perte de biodiversité

1. Définition de la forêt

Un aspect essentiel de la surveillance des forêts est sa définition. Dans cette étude, lorsque l'on utilise des données Pour la représentation du pourcentage de couverture arborée, une valeur seuil de 25 % a été adoptée sur la base du consensus. générés lors des discussions avec les experts forestiers du monde entier. Nous avons utilisé la télédétection pour créer des cartes forestières mondiales avec des seuils de couverture du couvert végétal compris entre 10 % et 30 %, à chaque intervalle de 5 %, et les a montrés à des experts forestiers mondiaux. Ils ont discuté du seuil serait la plus raisonnable. La définition de la forêt prend généralement en compte trois critères : minimum la surface minimale, la hauteur minimale et le pourcentage de couverture arborée par rapport à la surface minimale. La surface minimale

Le pourcentage de couvert végétal se situe généralement entre 10 et 30 % (CCNUCC, 2002). Différents types de Les pays de l'UE adoptent des seuils minimaux différents. La différence de seuil a conduit à des divergences dans les estimations des superficies forestières, en particulier dans les forêts boréales et la taïga, les prairies inondées et les savanes, ainsi que les forêts sèches de feuillus tropicales et subtropicales (Sexton et al., 2016). Pour les dans les pays majoritairement arides ou semi-arides, comme le Kenya, l'adoption d'un seuil de 10 % aurait pour effet d'augmenter les coûts de production et d'augmenter la productivité.

Dans les pays tropicaux humides, comme l'Équateur, la couverture forestière est de 28,1 %, l'adoption d'un tel seuil se traduira par une couverture forestière de plus de 90 % pour l'ensemble du pays (Verchot et al., 2007). Le seuil le plus bas utilisé est celui de l'Iran, où la forêt est définie comme une zone comportant plus de Le Malawi et le Zimbabwe, où la forêt est définie comme un couvert végétal de plus de 1 %, sont les pays où le couvert végétal est le plus élevé.

comme une zone dont le couvert végétal est supérieur à 80 % (Lund, 2002). Le seuil de couvert végétal utilisé par Hansen et al (2013) était de 30 %. Le seuil de 25 % utilisé dans cette étude est un compromis entre les données calibrées pour les forêts tropicales et les valeurs pertinentes pour les forêts tropicales sèches. en essayant d'éviter l'inclusion d'un trop grand nombre de zones arbustives. Cependant, il est clair qu'aucun pourcentage fonctionnera partout de manière satisfaisante. 28

2. Données utilisées

Plusieurs ensembles de données de télédétection ont été utilisés pour évaluer chacun des trois critères suivants a défini la régénération naturelle des forêts : 1. non boisée pendant 10 ans avant 2000 ; 2. présentant des caractéristiques tendance à l'augmentation de divers indices de verdure ou de biomasse entre 2000 et 2015 ; 3. restent à être boisées de 2015 à aujourd'hui. Après la création de l'ensemble de données de télédétection, il a été procédé à une analyse de l'ensemble des données de télédétection.

envoyé à divers experts dans le monde entier. L'ensemble des données a ensuite été modifié en fonction des résultats de l'enquête. (figure 1).

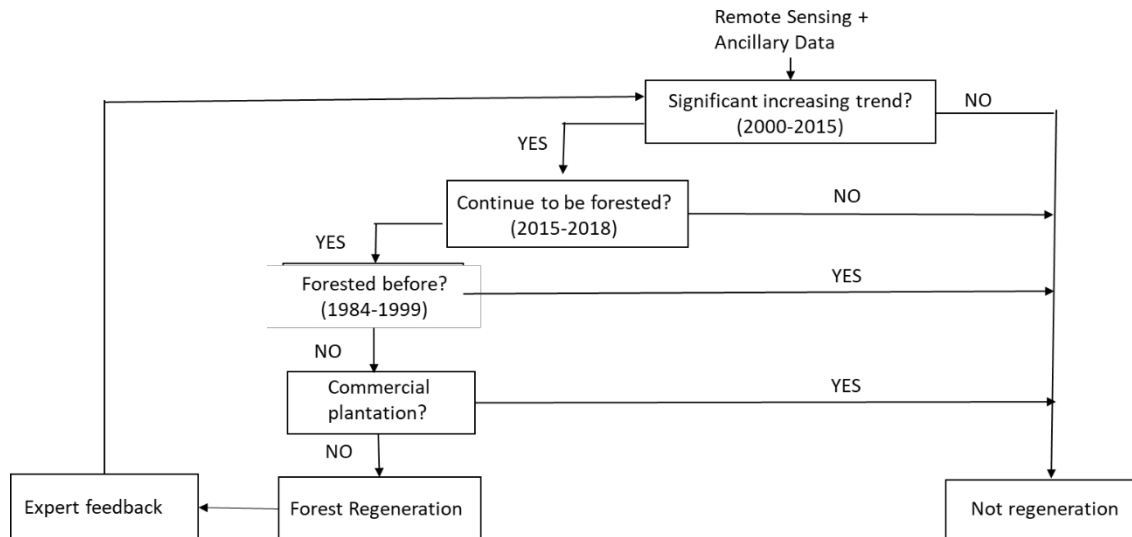


Figure 1. Organigramme de la méthode utilisée pour créer la carte de régénération forestière.

2.1. Critère 1 : état non forestier avant 2000

Pour s'assurer que la nouvelle forêt détectée provenait bien de la régénération de la forêt.

la couverture terrestre non forestière et pas seulement la reconstitution après des perturbations forestières, les zones devaient être non forestières, mais aussi non forestières.

La couverture forestière avant 2000 pendant 10 ans. Le plus long ensemble de données continues à moyenne résolution pour le Les données Landsat 5 constituent le principal outil de détection des changements d'occupation du sol. Les premières données disponibles de ce satellite est 1984, qui était la période utilisée pour détecter la couverture non forestière avant les tendances à la croissance.

Les données utilisées pour déterminer les zones qui n'étaient pas forestières avant 2000 sont énumérées dans le tableau S1. Ces données ont été utilisées pour déterminer les zones qui n'étaient pas des forêts avant 2000.

comprenait des données sur l'occupation des sols, à partir desquelles les classes non forestières ont été directement utilisées. Pour les

les classes de terres classées comme "couvertes d'arbres" ont été exclues.

Dans le cas des données de réflectance de surface Landsat, la couverture nuageuse de chaque scène a été

en appliquant le masque de nuage dans la bande d'évaluation de la qualité (QA), puis les nuages de 16 jours dans la bande d'évaluation de la qualité (QA).

a été créé en utilisant le meilleur pixel disponible. La différence normalisée de végétation

Les valeurs de l'indice NDVI (NDVI Index) ont ensuite été calculées pour les données de réflectance de surface de 16 jours sans nuages

composite. Le NDVI a été utilisé car ce critère permet de sélectionner les zones où il n'y a pas de forêt.

D'autres indices de végétation, tels que l'indice de végétation amélioré (EVI), qui n'a pas d'incidence sur la qualité de l'air, sont également utilisés.

saturer dans les forêts tropicales humides (Pettorelli et al., 2005), ou le kernel NDVI (kNDVI), qui est plus

sensible à la variation de la production primaire brute (PPB) (Camps-Valls et al., 2021) et à l'évolution de la consommation d'eau. (Dias et al., 2022), sont bien meilleures et adaptées à la détection de la végétation.

que la présence de la forêt.

Ces données sur 16 jours ont ensuite été annualisées en prenant la moyenne entre le 25e et le 25e jour.

Valeurs NDVI du 75e percentile de la même année pour éviter l'influence des valeurs aberrantes. Zones

où la moyenne annuelle du $NDVI \leq 0,6$ et son écart-type $\geq 0,1$ pour chaque année pendant la période de l'étude.

ont été sélectionnés. Ces critères ont été définis en examinant diverses zones non forestières connues

mais pourraient avoir des valeurs NDVI élevées, comme les zones agricoles irriguées aux États-Unis.

Midwest ; et diverses zones forestières connues, mais qui pourraient avoir de faibles valeurs NDVI, telles que le

forêt sèche dans les forêts de Miombo en Afrique centrale. Le seuil de la valeur moyenne du NDVI a été fixé à un niveau élevé pour éviter que des zones agricoles irriguées ne soient incluses, car les pixels avec des valeurs NDVI supérieures à 0,6 étaient considérées comme couvertes d'une végétation dense comme dans les forêts tropicales ou tempérées. (Jensen, 2009 ; Pettorelli, 2013). On s'attendait à ce que le $NDVI \leq 0,6$ puisse capturer des zones de forêt sèche, mais la variation phénologique annuelle des forêts devrait être moins variable que celle observée dans les zones d'agriculture ou de pâturage. Les zones présentant un écart-type annuel plus important par rapport à la moyenne du NDVI ont été considérées comme susceptibles d'être agricoles-pastorales en raison de leur cycle de récolte annuel. (Wei et al., 2016). Par conséquent, le critère de l'écart-type de l'indice NDVI annuel, qui doit être égal ou supérieur à 1,5 million d'euros, a été retenu. 0,1 a permis d'éviter que des forêts sèches présentant de faibles valeurs moyennes de NDVI ne soient incluses par erreur dans la catégorie des forêts non sèches. forêt.

En plus des données Landsat habituelles, nous avons également utilisé les données Landsat Vegetation Continuous (VCF). Ces couches contiennent des estimations du pourcentage de la surface horizontale du sol dans chaque pixel de 30 mètres couvert par une végétation ligneuse de plus de 5 mètres de hauteur (Sexton et al, 2013). Les zones dont le couvert végétal était inférieur à 25 % ont été sélectionnées. En raison des limites de la Pour des raisons de disponibilité des données, seules les données de l'année 2000 ont été utilisées. Bien que les données ne portent que sur une seule année, l'ensemble des données a été utilisé pour la première fois. calibrée avec Lidar, elle a été incluse pour compléter les données Landsat habituelles. 82

Tableau S1. Ensembles de données évalués pour vérifier s'ils peuvent être utilisés pour détecter l'absence de forêt entre 1984 et 1999. La mention "Rés." indique la résolution spatiale de l'étude. et ." indique la résolution temporelle des données.

Données	Zone	Res.	Période	Fréq.	Source	Raison d'être
ESA CCI Couver ture du sol	Mondial	300m	1992-1 999	Annuel	Agence spatiale européenne (2019)	Bonne carte de la couverture terrestre mondiale (Jaafar et al., 2019), où les couvertures terrestres classées dans la catégorie "couvert arboré" ont été considérées comme des "forêts".
NDVI de Landsat	Mondial	30m	1990-1 999	16 jours	Masek et al. (2006)	Le NDVI est l'indice de végétation le plus courant qui reflète l'état de la végétation et Landsat dispose d'une série chronologique suffisamment longue.
Landsat VCF	Mondial	30m	2000	5 ans	Sexton et al. (2013)	Elle est calibrée avec le Lidar pour certaines zones, ce qui permet d'obtenir des informations plus précises sur le couvert végétal à haute résolution. Les zones dont le couvert végétal est inférieur à 25 % ont été sélectionnées

Couverture terrestre du Brésil	Brésil	30m	1990-1999	Annuel	MapBiomass (2019)	Cartes bien calibrées de l'occupation du sol au Brésil. Les classes non forestières ont été sélectionnées.
CORINE Couverture du sol	L'Europe	100m	1990, 2000	Occasionnel	Environnement européen Agence (2019)	Cartes bien calibrées de l'occupation du sol en Europe. Les classes non forestières ont été sélectionnées.

2.2. Critère 2 : tendances à la hausse entre 2000 et 2015

La repousse de la forêt a été détectée en sélectionnant les pixels où les tendances des estimateurs de la biomasse, la verdure ou le couvert végétal ont montré des tendances significatives à la hausse en utilisant la méthode de Mann-Kendall ($p < 0,05$) appliqué à des séries temporelles annuelles (Mann, 1945 ; Kendall, 1975) et le test de Sen ($p < 0,05$) appliqué à des séries temporelles annuelles (Mann, 1945 ; Kendall, 1975).

estimateur non paramétrique de la pente (Sen, 1968) sur les données normalisées. Statistiques de Mann-Kendall et l'estimateur de la pente de Sen sont couramment utilisés pour détecter les végétations progressives et monotones. (Zhu et al., 2016), car contrairement à d'autres statistiques paramétriques, ces statistiques non paramétriques peuvent être utilisées dans le cadre d'un projet de recherche ou d'un projet de développement.

n'exigent pas que les données correspondent à l'hypothèse de normalité (Mann, 1945 ; Kendall, 1975 ; von Storch, 1995), comme c'est souvent le cas dans les séries chronologiques en sciences naturelles. Pour éviter les fausses éliminations des vraies tendances significatives, le traitement "pré-blanchiment" n'a pas été appliqué à la tendance.

l'analyse. Seules les tendances dont les estimations de la pente sont supérieures à 0,01 ont été sélectionnées afin de limiter le nombre de commissions.

(Bayazit et al., 2007). Toutes les valeurs seuils ont été sélectionnées sur la base d'une discussion avec le personnel de l'expertise forestiers mondiaux lorsqu'on montre des cartes de différentes valeurs seuils.

Les ensembles de données ont été évalués afin de déterminer ceux qui peuvent être utilisés pour détecter les problèmes de santé publique au niveau mondial.

l'évolution du couvert forestier. Les ensembles de données utilisés doivent couvrir le plus grand nombre de zones, avec et à la résolution appropriée (tableau S2). Données de l'étude Modéré Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) ont été utilisés parce qu'ils fournissent des données plus élevées sur la qualité de l'air et sur la qualité de l'eau.

La précision des produits de réflectance de surface est supérieure à celle des images Landsat en raison de la meilleure qualité de l'atmosphère.

et des résolutions temporelles plus élevées (Ju et al., 2012 ; Feng et al., 2013 ; Jarchow et al., 2018) et sont disponibles à une résolution spatiale adaptée au suivi de l'évolution des forêts.

La résolution spatiale de 250 m à 1 km est considérée comme la meilleure pour représenter le couvert forestier annuel.

à l'échelle mondiale au fil des ans (Chambers et al., 2007). Étant donné que l'espace

La résolution des produits de données MODIS disponibles se situe entre 250 m et 500 m, la majorité des ensembles de données ayant une résolution supérieure à celle des produits MODIS.

utilisées ont été développées sur la base de MODIS.

Différents produits de données MODIS ont été utilisés pour évaluer la régénération des forêts entre 2000 et

Cette période a été choisie en raison de la disponibilité des données et parce qu'elle est suffisamment longue pour que l'on puisse en tirer des enseignements.

estimation de la tendance et de la pente (au moins 16 observations par site) (Gilbert, 1987 ; Gocic & Trajkovic, 2013). En particulier, MODIS VCF, MODIS NDVI, et MODIS EVI ont été utilisés dans le cadre de l'étude.

dans le cas de la région non boréale, tandis que le MODIS LAI a été complété par des données MODIS VCF, comme le montre le tableau ci-dessous.

il fonctionne bien dans les régions boréales (Montesano et al., 2009). Le modèle MODIS Terra Vegetation

Continuous Fields (VCF) permet d'estimer le pourcentage de couverture arborée au niveau du pixel et d'estimer le pourcentage de couverture végétale au niveau du pixel.

est disponible chaque année de 2000 à 2018 à une résolution de 250 m (DiMiceli et al. 2017). Nous avons utilisé des données de 2000 à 2015. Les corrélations entre le MODIS NDVI et l'EVI sont bonnes et complémentaires.

avec la teneur en chlorophylle de la canopée et la productivité (Pettorelli et al., 2005). L'EVI est meilleur en reflète l'état de la végétation que le NDVI pour les zones végétalisées à forte biomasse telles que les forêts de l'ouest de l'Europe.

forêt tropicale (Pettorelli et al., 2005) et le NDVI est meilleur que l'EVI pour la surveillance des forêts tropicales humides.

les variations de la végétation dans les zones de terrain accidenté (Matsushita et al., 2007). Les deux indices, Bien qu'elles proviennent du même capteur, elles ne sont pas nécessairement corrélées. Dans les forêts en Amérique du Nord (Wu et al., 2014) et en Asie de l'Est (Wang et al., 2006), les deux écosystèmes de la région de l'Asie de l'Est (Wu et al., 2006) sont les mêmes.

sont corrélés dans certains, mais dans d'autres, seul un des indices est corrélé.

est capable de suivre les changements phénologiques de la forêt.

Le masquage des nuages n'est pas nécessaire pour les indices NDVI et EVI des indices de végétation MODIS. (MOD13Q1.006), parce qu'ils ont été calculés à partir de données biométriques corrigées de l'atmosphère.

la réflectance directionnelle de la surface qui a été masquée pour l'eau, les nuages, les aérosols lourds, et les ombres des nuages (Didan 2015). Les données sur 16 jours ont été annualisées en prenant la moyenne des données sur 16 jours.

entre le 25^{ème} et le 75^{ème} percentile au cours de la même année. 136

Pour la région boréale, les données MODIS relatives à l'indice de surface foliaire (LAI) ont été utilisées à la place du NDVI et EVI. En raison de l'influence de la neige, le NDVI et l'EVI perdent de leur sensibilité à l'influence de la neige.

la croissance de la végétation dans les régions boréales (au nord de 50° N) en raison de la courte saison de croissance, et la présence de neige et d'humidité du sol (Wang et al., 2018). Comparé aux eddy

les estimations de flux de covariance pour le flux de carbone, les indices alternatifs tels que MODIS plant et MODIS LAI ont montré une meilleure corrélation avec l'indice primaire brut.

et les dates des changements phénologiques que le NDVI et l'EVI (Barr et al., 2004) ; Ueyama et al, 2013 ; Jin et al, 2014 ; Karkauskaite et al, 2017). Le LAI est une unité sans dimension

qui indique la surface foliaire d'un côté par rapport à la surface. Il peut être utilisé pour détecter la structure caractéristiques, telles que la croissance, de l'écosystème forestier (Asner et al., 2003). Étant donné que l'IPP est linéairement

est en corrélation avec le LAI (Jin et al., 2014) et le produit MODIS LAI est facilement disponible, la tendance de 4-

Le produit MODIS LAI (MODIS/006/MCD15A3H) à une résolution de 500 m dans la région boréale a été utilisé pour le calcul de l'indice d'humidité de l'air (LAI).

pour examiner la tendance de la croissance. Bien que ce produit ait une résolution spatiale plus fine (500 m x 500m = 25ha contre 6,26 ha), le LAI a été considéré comme plus apte à détecter la croissance que le

indices de végétation disponibles à une résolution spatiale plus fine dans la région boréale, alors que d'autres indices de végétation sont disponibles à une résolution spatiale plus fine dans la région boréale.

sont incapables de refléter les conditions de croissance de la végétation (Ueyama et al, 2013). 153

Pour éviter les erreurs de commission, seules les tendances monotones significatives sur le plan statistique sont prises en compte.

avec des pentes supérieures à 0,03 ont été sélectionnées à la fois pour le NDVI et l'EVI ; tandis que pour les tendances VCF, un minimum de

Une pente de 1 a été utilisée et une pente de 2,5 pour le LAI. Ces valeurs seuils ont été fixées sur la base de la

consensus dans de multiples discussions avec des experts forestiers du monde entier. Nous avons créé des cartes de

différents seuils pour ces produits et les ont présentés aux experts. Ils ont fait un zoom sur

les zones où ils savaient que de grandes zones de régénération forestière s'étaient produites entre 2000

et 2015. Les valeurs seuils ont été choisies sur la base du consensus des experts. 161

Tableau S2. Données évaluées pour déterminer les tendances de croissance de 2000 à 2015 à l'échelle mondiale ou régionale.

l'échelle régionale. La mention "Res." indique la résolution spatiale des données, et la "." indique la résolution spatiale des données.

la résolution temporelle des données. La colonne "Utilisé ?" indique si l'ensemble de données a été utilisé pour créer la carte de régénération forestière intermédiaire, où "Y" a été utilisé et Le "N" ne l'était pas.

Données	Zone	Res.	Période	Fréq.	Utilisé ?	Source	Raison d'être
MODIS VCF	Mondial	250m	2000-2015	Annuel	Y	DiMiceli et al. (2017)	Pourcentage de couverture arborée annuelle continue, calibrée avec in le couvert végétal dans certaines zones (Carroll et al., 2010)
MODIS NDVI	Mondial	250m	2000-2015	16-da y	Y (non - Boreal)	Didan (2015)	Des séries temporelles suffisamment longues d'indices de végétation qui indiquent l'état de la forêt. Ils peuvent se compléter. Régénération de la forêt boréale ne peut pas
MODIS EVI	Mondial	250m	2000-2015	16-da y	Y (non -Boréal)	Didan (2015)	ne peuvent être détectés avec précision par le NDVI/EVI en raison de la couverture neigeuse (Wang et al., 2018)
NDVI de Landsat	Mondial	30m	1984-2015	16-da y	N	Masek et al. (2006), Vermote et al. (2016)	Le rapport signal/bruit est trop élevé, la résolution radiométrique est faible.
Landsat EVI	Mondial	30m	1984-2015	16-da y	N		
MODIS LAI	Mondial	500m	2002-2015	4 jours	Y (boréal)	Myneni et al. (2015)	Résolution spatiale plus faible mais meilleure détection de la croissance boréale (Barr et al., 2004) ; Ueyama et al, 2013 ; Jin et al, 2014 ; Karkauskaite et al., 2017).

Changement de la forêt de Hansen	Mondial	30m	2000-2012	Annuel	N	Hansen et al (2013)	Il ne permet pas de détecter la repousse des forêts, car il s'agit principalement d'un produit de déforestation. L'ensemble de données sur le gain de forêt indique les pixels qui répondent à la définition de la forêt, mais il ne fournit pas de valeurs continues indiquant une repousse de la forêt.
Landsat VCF	Global	30m	2000-2015	5 ans	Y	Sexton et al. (2013)	Calibré avec des données LiDAR à certains endroits. La différence entre Les années marquées ont été utilisé pour détecter la repousse.

168

169 Les données sur l'âge des jeunes arbres dans diverses régions ont fourni des ensembles de données supplémentaires pour la repousse

170 (tableau S3). Les pixels dont l'âge de la forêt était inférieur à 5 ans en 2000 ont été sélectionnés. Parce que

171 différents ensembles de données ont été collectés pour différentes périodes, la sélection de l'âge des arbres a été ajustée.

172 en conséquence pour s'assurer qu'il aura moins de 5 ans en 2000. Par exemple, pour l'Alaska

173 Les pixels dont la forêt est âgée de moins de 10 ans ont été sélectionnés, car les informations sur la forêt ont été utilisées dans le cadre d'un projet de recherche.

174 a été fournie pour l'âge des forêts en 2006. Pour le Canada, deux ensembles de données fournissaient l'âge des forêts en 2006.

175 pour les jeunes peuplements forestiers. La première (Beaudoin et al., 2017) est la différence entre les deux types de données.

176 entre 2011 et 2001, une différence d'âge de base inférieure à 15 a été retenue. Pour les

177 deuxième ensemble de données (Pan et al., 2012), les pixels dont l'âge du peuplement était inférieur à 8 au cours de l'année 2004 ont été

178 sélectionnés. Pour la Russie, l'âge des jeunes peuplements d'arbres a été fourni en 2012 (Loboda et Chen, 2016).

179 Les pixels dont l'âge du peuplement est inférieur à 16 ans ont été

sélectionnés. 180

181 **Tableau S3. Données évaluées pour déterminer les tendances de croissance de 2000 à 2015 au niveau local ou régional.**

182 **l'échelle régionale. La mention "Res." indique la résolution spatiale des données, et la "." indique la résolution spatiale des données.**

183 **la résolution temporelle des données. "LAC" signifie Amérique latine et Caraïbes.**

184 **La colonne "Utilisé ?" indique si le jeu de données a été utilisé pour créer le jeu de données intermédiaire.**

185 **carte de régénération forestière, où "Y" a été utilisé et "N" ne l'a pas été.**

186

Données	Zone	Res.	Période	Fréq.	Utilisé ?	Source	Raison d'être
Couverture terrestre du Brésil	Brésil	30m	2000-2015	Annuel	N	MapBiomass (2019)	Les modifications de l'occupation du sol ont été prises en compte dans les critères d'antériorité et de permanence non forestière de la forêt depuis.

Terra-i	Tropiques	250m	2000 présent	16 jours	N	Reymondin et al. (2012)	Produit de la déforestation : Pas un produit pour détecter les forêts repousse
Biomasse Baccini	Tropiques	500m	2003-2014	Annuel	Y	Baccini et al. (2012)	Un gain de biomasse ≥ 50 t/ha peut être utilisé comme proxy pour la forêt repousse
Russie Jeune arbre	Russie	500m	2012	Annuel	Y	Loboda & Chen (2016)	Les arbres de moins de 16 ans ont été considérés comme étant nouvelle croissance
Europe Âge des arbres	Pan-européen	11 km	2000-2010	Moyenne	N (boreal)	Moreno et al. (2017)	Résolution spatiale trop grossière
Canada Jeune arbre	Canada	1km	2004	Annuel	Y	Pan et al. (2012)	Les arbres de moins de 8 ans ont été considérés comme de nouvelles pousses.
Âge de l'arbre au Canada	Canada	250m	2001 & 2010	Annuel	Y	Beaudoin et al. (2017)	La différence entre les deux années utilisées pour détecter la repousse.
Jeune arbre d'Alaska	Alaska	1km	2006	Annuel	Y	Pan et al. (2012)	Les arbres de moins de 10 ans ont été considérés comme étant nouvelle croissance
ÉTATS-UNIS Jeune arbre	ÉTATS-UNIS	1km	2006	Annuel	N	Pan et al. (2012)	Résolution spatiale trop grossière
Gain de forêt en Chine	Chine	250m	2000-2010	Annuel	N	Vina et al (2016)	L'article a utilisé le MODIS VCF, qui est l'un ensembles de données utilisés dans le cadre de cette étude. l'étude.

Reboisement néotropical	LAC	500m	2001- 2014	Annuel	N	Nanni et al. (2019)	Les définitions diffèrent : ils ont utilisé un modèle pour prédire le taux de mortalité annuel. et la définition du reboisement est la suivante : il y a des groupes de changements dans l'occupation des sols qui ne sont pas des forêts, mais des forêts qui ne sont pas des forêts. de forêt en forêt.
Néotropical Âge des arbres	LAC	10 km	2008	Annuel	N	Poorter et al (2016)	Résolution spatiale trop grossière
Mékong Gain d'arbre	Mékong	30m	2001- 2015	Annuel	Y	Potapov et al. (2019)	Arbre à pourcentage régional bien calibré couverture de l'auvent

2.3. Critère 3 : permanence de la forêt depuis 2015

Les ensembles de données évalués pour déterminer l'état des forêts entre 2015 et 2018 sont les suivants figurant dans le tableau S4. Le produit Forêt/Non-Forêt dérivé de JAXSA SAR a été écarté pour les raisons suivantes les régions boréales en raison de l'impact de la couverture neigeuse sur les données SAR. Le satellite à synthèse d'ouverture ALOS Les données radar (SAR), basées sur un produit de couverture forestière/non forestière (Shimada et al., 2014) montrent que artefacts dans la classe de couverture forestière dans la région boréale. En conséquence, les données ALOS forêt/non forêt n'a été utilisé que pour la région non boréale. Pour chaque jeu de données, les pixels qui ont ont été sélectionnées. Pour les deux autres ensembles de données mondiales (ESA Land Cover (ESA 2019) et Global Forest Change (Hansen et al., 2013)) qui montrent que la forêt est un élément essentiel de l'économie mondiale. entre 2015 et 2018, seuls les pixels identifiés comme boisés dans ces 4 années ont été sélectionnées.

Il existe d'autres ensembles de données calibrées au niveau régional. Les pixels qui ont été systématiquement boisées entre 2015 et 2018 ou dans la période fournie ont été sélectionnées et superposées. avec le jeu de données global sur les forêts. Seuls les pixels classés comme forêt dans les deux ensembles de données ont été pris en compte. sélectionné. Cela permet d'éviter que des pixels de forêt mal classés soient sélectionnés.

Tableau S4. Données évaluées pour déterminer les zones de forêts persistantes de 2015 à 2019. "Rés. indique la résolution spatiale des données, et "Freq." indique la résolution temporelle.

208 des données. La colonne "Utilisé ?" indique si l'ensemble de données a été utilisé lors de la création du
 209 carte de régénération forestière intermédiaire, où "Y" a été utilisé et "N" n'a pas été utilisé.
 210

Données	Zone	Res.	Période	Fréq.	Utilisé ?	Source	Raison d'être
ALOS F/NF	Mondial	25m	2015-2017	Annuel	Y (non boréal)	Shimada et al (2014)	La qualité des données est mauvaise dans la forêt boréale en raison de la neige (Shimada et al..., 2014)
Couverture des terres ESA	Mondial	300m	2015-2018	Annuel	Y	Espace européenne Agence (2019)	La forêt a persisté dans entre 2015 et 2018 a été sélectionné.
Changement forestier mondial	Mondial	30m	2015-2018	Annuel	Y	Hansen et. al (2013)	La couverture forestière 2019 a été calculée sur la base du gain/perte
Étendue des terres cultivées (GFSAD)	Mondial	30m	2015	Annuel	N	Thenkabail et al. (2012)	La qualité des données est difficilement accessible
Étendue de la forêt du Mékong	Mékong	30m	2015-2016	Annuel	Y	Potapov et al. (2019)	Forêt définie par un couvert arboré >=25% pour 2015-16, d'une hauteur supérieure à 5m
Terre du Brésil Couverture	Brésil	30m	2015-2017	Annuel	Y	MapBiomass (2019)	Forêt naturelle Classes pour 2015-17
ESA Couverture terrestre de l'Afrique	Afrique	30m	2016	Annuel	Y	Espace européenne Agence (2018)	Données d'occupation du sol bien calibrées ; classes forestières sélectionnées pour 2016
CORINE Couverture du sol	L'Europe	100m	2018	Occasionnel	Y	Agence européenne pour l'environnement (2019)	Cartes bien calibrées de l'occupation du sol en Europe. Les classes non forestières ont été sélectionnées.

3. Combinaison de critères

La carte de régénération finale a été créée en combinant au moins deux cartes de télédétection. ont indiqué qu'un pixel n'était pas boisé entre 1990 et 1999 (figure 2). entre 2000 et 2015 (figure 3), et a eu un couvert forestier persistant entre 2000 et 2015 (figure 4). 2015 à 2018 (figure 4). Les pixels qui satisfont à ces trois critères ont été étiquetés comme étant des forêts. régénération.

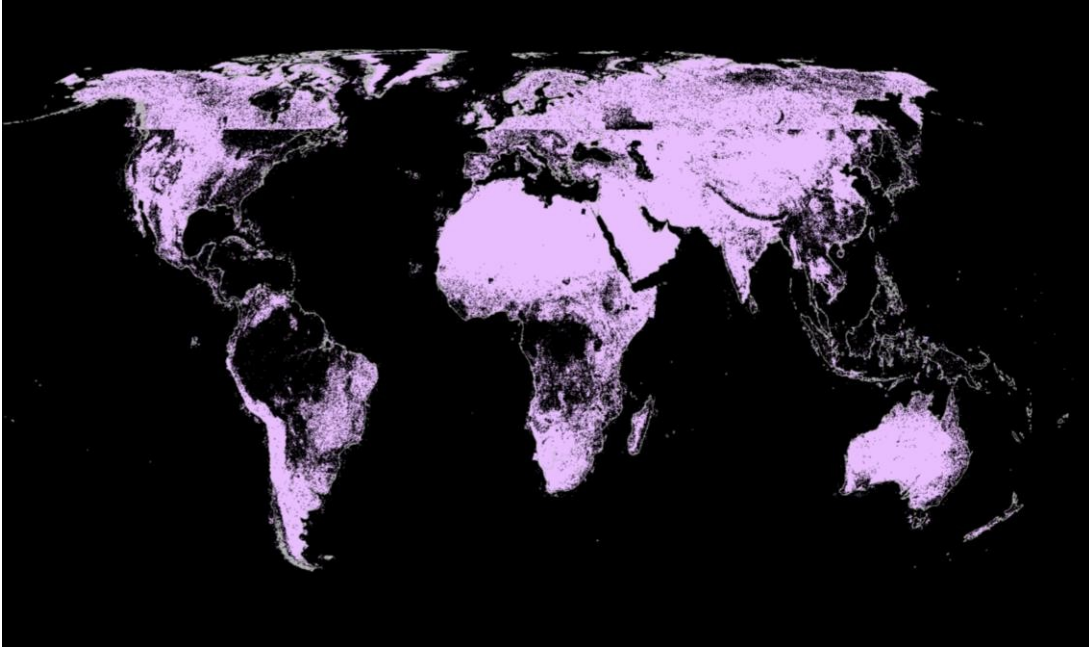


Figure 2 Les zones violettes sont celles où au moins deux ensembles de données indiquent qu'il n'y a pas de forêt entre 1990 et 2010. Le violet foncé indique que plus de deux ensembles de données concordent.

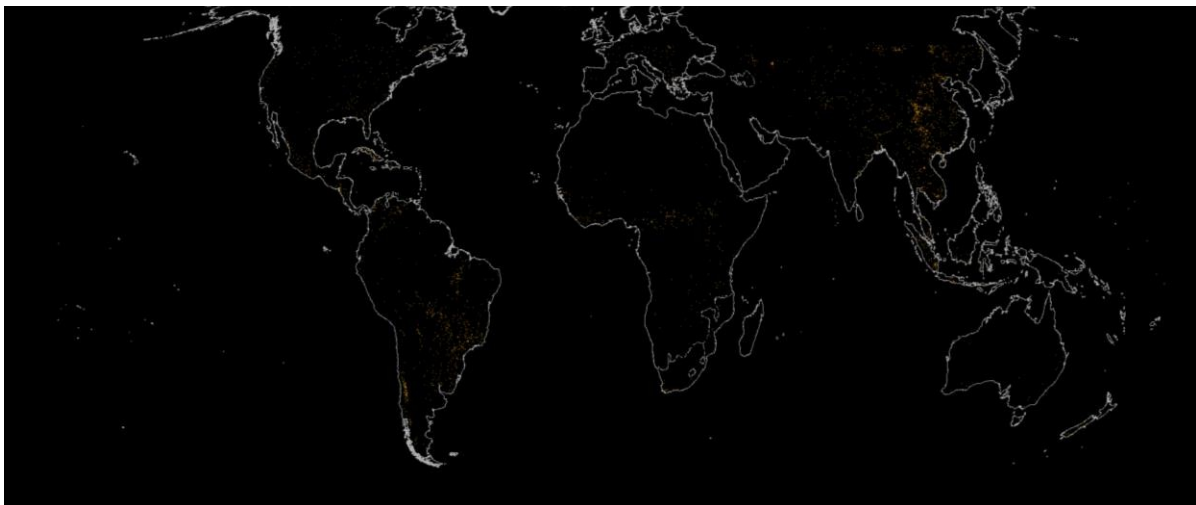
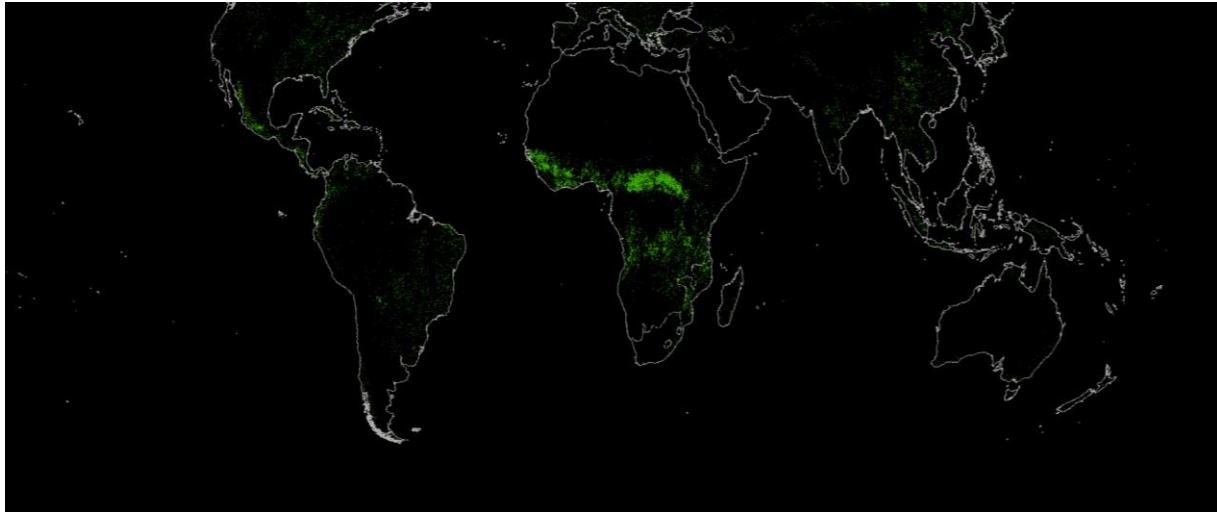


Figure 3. Les zones orange indiquent que plus de deux ensembles de données s'accordent sur le fait qu'il n'y a pas eu d'accord entre les deux ensembles de données. La régénération des forêts s'est produite entre 2000 et 2015.



228 **Figure 4. Les zones vertes indiquent les endroits où plus de deux ensembles de données s'accordent sur la forêt.**
 229 **a persisté entre 2016 et 2018.**

231 4. Envoi des questions de l'enquête aux experts locaux pour obtenir leur avis

232 L'un des principaux objectifs de cette étude était d'engager la conversation sur les ressources naturelles.
 233 la régénération des forêts et les conditions qui la favorisent parmi les experts locaux. Pour atteindre cet objectif, un
 234 a été téléchargée en même temps que la carte intermédiaire de régénération forestière créée par télédétection.
 235 des experts locaux et des experts en matière de détection ont été invités à donner leur avis. Les questions de l'enquête ont été
 conçues de manière à
 236 que les experts locaux puissent donner leur avis sur la carte de la régénération forestière et expliquer le processus de régénération.
 237 Les conditions forestières et les moteurs possibles de la régénération naturelle des forêts. Lorsque les experts ont établi une
 238 polygone de leur région d'expertise sur la carte en ligne, une fenêtre avec les données d'enquête associées.
 239 des questions souvriraient. La liste S1 présente les questions, les mots en gras étant le titre de l'article.
 240 le champ et les explications associées au champ que les experts verraient. Les chiffres du
 241 Les crochets indiquent la limite de caractères que les experts peuvent remplir. Toute information supplémentaire
 242 Les experts de la Commission européenne qui souhaitaient partager des informations étaient invités à les télécharger dans le
 système en ligne. Il peut s'agir de documents, de cartes ou de
 243 les images associées au polygone qu'ils ont dessiné. 244

- 245 1. **Votre nom** : Veuillez indiquer votre nom.
- 246 2. **Position** : Veuillez indiquer votre fonction.
- 247 3. **Institution** : Veuillez indiquer votre institution.
- 248 4. **Courriel** : Veuillez indiquer votre adresse électronique
- 249 5. **Mapped_YN** : Veuillez indiquer si la régénération a été cartographiée, avec [oui ou
 250 non].

251 6. **ForestNow_YN** : Veuillez indiquer si la zone mise en évidence est actuellement principalement "boisée", [oui ou
252 non].

253 7. **CurrCover** : Si la zone n'est pas boisée, veuillez indiquer quelle est la couverture terrestre dominante actuelle.
254 [150]

255 **Type de forêt** : Veuillez indiquer le type de forêt s'il s'agit d'une forêt [100].

256 8. **Regen_YN** : Veuillez indiquer si la régénération s'est produite entre 2000 et 2018, par [oui ou non].

257 9. **NaturalR_YN** : Veuillez indiquer si la régénération qui s'est produite est non soutenue par l'homme, par [oui ou
258 non].

259 **Restauration_YN** : Veuillez indiquer si la forêt a été activement restaurée,
260 10. soute
261 nue par l'homme, [oui ou non].

262 **Type de restauration** : Veuillez indiquer le type de restauration (détails) [150].

263 11. **DenserF_YN** : Si la zone a été boisée (1984-présent), veuillez indiquer si la forêt est devenue plus dense, [oui ou
264 non].

265 12. **Denser_mech** : Veuillez expliquer la raison de l'augmentation de la densité. [150]

266 13. **Plantation forestière_YN** : Veuillez indiquer si la zone est une plantation , par [oui ou non].

267 **Type de plantation forestière** : Veuillez indiquer le type de plantation forestière (détails) [150].

268 14. **Agriculture_YN** : Veuillez indiquer s'il s'agit d'une zone agricole, [oui ou non].

269 **Type de culture** : Veuillez indiquer le type de culture [150]

270 15. **Agroforestry_YN** : Veuillez indiquer si la zone est un système agroforestier, [oui ou non].

271 **Agroforestry_Type** : Veuillez indiquer s'il s'agit d'un Agroforestry, le type[150].

272 16. **Utilisation des terres** : Veuillez indiquer l'utilisation des terres dans la zone (différente de la couverture) [150].

273 17. **Gestion** : Veuillez indiquer le régime de gestion de zone[150].

274 18. **Contexte** : Veuillez indiquer les informations contextuelles pertinentes expliquant la régénération/l'absence
275 observée. [254]

276 19. **PolicyChng** : Veuillez indiquer s'il y a eu un changement pertinent dans les politiques d'utilisation ou de gestion
277 des terres [150].

278 20. **B4_LU** : Veuillez indiquer l'utilisation des terres avant 1984[150].

279 21. **B4_LC** : Veuillez indiquer l'occupation du sol avant 1984[150].

280 22.

281 23.

282 24.

283 25.

284 26.

27. **Facteurs** : Veuillez indiquer tout autre facteur de régénération forestière que vous pensez être le plus important.
important. [150]

28. **Agents** : Veuillez indiquer tout autre agent (qui ?) que vous jugez important[150].

29. **Autres** : Veuillez formuler tout autre commentaire ou suggestion que vous estimez manquer dans la rubrique
les questions précédentes.

**Liste S1. Questions de l'enquête qui sont apparues dans les polygones associés sur la carte simplifiée.
carte binaire de la régénération forestière que les experts ont dessinée pour leurs régions d'expertise.**

Les questions de l'enquête portaient également sur la validation de la carte, notamment les raisons pour lesquelles la régénération forestière a été omise ou classée de manière incorrecte. L'autre série de questions permettait les participants à fournir les informations socio-économiques et les moteurs de la politique de régénération, l'équipe d'experts de l'UE. les activités économiques actuelles dans la forêt régénérée et l'état de santé de la forêt régénérée. arbres. Si les participants le savent, ils peuvent également fournir des informations supplémentaires pour leur arbre spécifique. les lieux choisis. Leurs réponses ont non seulement permis de valider les résultats cartographiés générés par l La télédétection, mais aussi l'élaboration d'un modèle qui pourrait tenter d'expliquer le rôle de la télédétection dans le développement de l'économie. des conditions propices à la régénération naturelle des forêts.

Les données polygonales ont été nettoyées avant d'être utilisées pour calculer la superficie par pays. Pour les certains polygones qui ont été dessinés par erreur au-delà des frontières nationales, sur la base de l'interprétation de l'image de marque.

Dans le contexte du retour d'information, les zones qui ont été supprimées. Pour les polygones qui ont été dessinés à travers la frontière et qu'il n'y avait pas d'information contextuelle évidente, les polygones ont été divisés par les pays dont ils relèvent.

4.1. Analyses qualitatives des réponses à l'enquête et de la révision de la carte

Des analyses qualitatives ont été réalisées afin de déterminer si le retour d'information était adéquat. a représenté les zones de régénération dans chaque biome, les schémas d'erreurs et les types de manière à ce que nous savions ce qu'il fallait améliorer sur la carte intermédiaire de télédétection en fonction du retour d'information. Expert a été collecté sur 123 sites dans 29 pays, 13 biomes, et représentait 141,8 millions d'euros par an. ha (figure 5). Les identifiants, les zones et les pays de tous les polygones dessinés sont disponibles dans l'ensemble de données S6. Un

La carte interactive de la régénération forestière, y compris les polygones de retour d'expérience, est disponible dans cette section.
[site web](#).



Figure 5. Des commentaires ont été reçus pour 123 sites dans 29 pays (zones bleues).

Afin de vérifier si le retour d'information reçu pour chaque biome est suffisant pour représenter la forêt, il a été décidé de mettre en place un système d'alerte.

ré régénération détectée dans chaque biome, nous avons comparé la proportion de la surface du retour d'information reçue. et la télédétection ont permis d'identifier la régénération forestière pour chaque biome. Si la rétroaction dans un biome était représentatif, la proportion du retour d'information reçu dans ce biome devrait être supérieure ou égale à la proportion de régénération forestière détectée dans ce biome. Par exemple, si les données de télédétection La zone de régénération forestière cartographiée représentait 20 % de la superficie totale de la zone "Feuilles larges tempérées et forêts à feuilles larges".

Forêts mixtes", mais seulement 10 % de la superficie totale du biome a reçu un retour d'information, alors d'autres serait nécessaire pour le biome "Forêts tempérées à feuilles larges et forêts mixtes". La proportion a été calculée en divisant la zone de rétroaction ou la zone de forêt détectée par télédétection par le nombre d'hectares de forêt. dans chaque biome par la superficie totale de ce biome.

En outre, nous avons vérifié si le retour d'information reçu pour chaque biome était représentatif de la régénération forestière cartographiée par télédétection en comparant la distribution des le pourcentage de la zone de régénération forestière détectée et le pourcentage de la zone de retour d'information reçue. Nous avons constaté que

que certains biomes auraient encore besoin d'un retour d'information plus important : Forêts boréales/Taïga, Conifères tempérés Forêts, prairies tempérées Savanes et arbustes, conifères tropicaux et subtropicaux et les forêts sèches de feuillus tropicales et subtropicales (voir l'ensemble de données S3 pour la liste complète des forêts sèches de feuillus). comparaison).

Nous avons également examiné le retour d'information et la distribution des types d'erreurs dans chaque biome afin de déterminer l'étape suivante consistant à ajuster la carte de régénération forestière intermédiaire créée par télédétection (tableau S5).

Tableau S5. Distribution et proportion (prop.) du type d'erreur dans chaque biome.

Biome	Type	Type Prop.
Forêts boréales/Taïga	Faux négatif	0.11
Forêts boréales/Taïga	Vrai positif	99.89
Déserts et arbustes xériques	Vrai négatif	21.40
Déserts et arbustes xériques	Vrai positif	78.60
Prairies et savanes inondées	Vrai négatif	100.00

Mangroves	Vrai négatif	2.23
Mangroves	Vrai positif	97.77
Forêts, bois et maquis méditerranéens	Faux positifs	2.88
Forêts, bois et maquis méditerranéens	Vrai négatif	40.58
Forêts, bois et maquis méditerranéens	Vrai positif	56.54
Prairies et arbustes montagnards	Faux négatif	0.01
Prairies et arbustes montagnards	Faux positifs	99.36
Prairies et arbustes montagnards	Vrai négatif	0.29
Prairies et arbustes montagnards	Vrai positif	0.34
Forêts tempérées à feuilles larges et forêts mixtes	Faux négatif	0.00
Forêts tempérées à feuilles larges et forêts mixtes	Faux positifs	2.70
Forêts tempérées à feuilles larges et forêts mixtes	Vrai négatif	20.28
Forêts tempérées à feuilles larges et forêts mixtes	Vrai positif	77.02
Forêts de conifères tempérées	Vrai négatif	48.90
Forêts de conifères tempérées	Vrai positif	51.10
Prairies, savanes et arbustes tempérés	Faux négatif	1.85
Prairies, savanes et arbustes tempérés	Vrai négatif	0.01
Prairies, savanes et arbustes tempérés	Vrai positif	98.14
Forêts sèches de feuillus tropicales et subtropicales	Vrai négatif	51.49
Forêts sèches de feuillus tropicales et subtropicales	Vrai positif	48.51
Prairies, savanes et arbustes tropicaux et subtropicaux	Faux négatif	0.03
Prairies, savanes et arbustes tropicaux et subtropicaux	Faux positifs	0.06
Prairies, savanes et arbustes tropicaux et subtropicaux	Vrai négatif	98.33
Prairies, savanes et arbustes tropicaux et subtropicaux	Vrai positif	1.58
Forêts tropicales et subtropicales humides à feuilles larges	Faux négatif	0.01
Forêts tropicales et subtropicales humides à feuilles larges	Faux positifs	0.07
Forêts tropicales et subtropicales humides à feuilles larges	Vrai négatif	43.21
Forêts tropicales et subtropicales humides à feuilles larges	Vrai positif	56.72
Toundra	Vrai positif	100.00

Outre les types (faux/vrai positif/négatif), le retour d'information a été classé en plusieurs catégories. classes détaillées en fonction des raisons suivantes : régénération non cartographiée, non régénération cartographiée, plantation cartographiée, plantation non cartographiée, régénération temporaire non cartographiée, et régénération cartographiée (tableau S6). Dans le type de faux positif, la zone de plantation identifiée à tort comme a contribué à la majeure partie de l'erreur (77 %) (tableau S6). Par conséquent, des masques supplémentaires pour ont été appliquées pour créer la zone de régénération forestière finale.

Tableau S6. Proportion (Prop.) des raisons détaillées dans chaque type de classe de retour d'information.

Type	Raison	Prop. de classe (%)
Faux négatif	Regen Non cartographié	100
Faux positifs	Non-Regen Mapped	22.73
Faux positifs	Plantation cartographiée	77.27
Vrai négatif	Plantation Non cartographié	13.17

Vrai négatif	Temp Regen Not Mapped	86.83
Vrai positif	Regen cartographié	100

Section 5. Validation et évaluation de la précision

La régénération des forêts ne représentant que 0,1 % du territoire, nous avons procédé à trois niveaux de régénération. de l'évaluation de la précision pour garantir l'exactitude de la carte et des incertitudes calculées pour les données de la carte. les estimations de superficie. Aucune régénération forestière n'ayant été détectée en Antarctique, celle-ci a été exclue dans le processus de validation. Les échantillonnages de validation ont été effectués aux trois niveaux suivants : 1. zone terrestre globale ; 2. les hexagones sélectionnés qui contiennent plus de 3,1 % de régénération forestière cartographiée ; 3. les hexagones cartographiés qui contiennent plus de 3,1 % de régénération forestière cartographiée. la régénération forestière et la zone tampon de 1 km qui l'entoure.

Au total, 2500 points de validation ont été sélectionnés par une méthode d'échantillonnage aléatoire stratifiée répartis sur l'ensemble du territoire. La classe prédite de ces points de validation était comparées aux images de séries temporelles de télédétection à haute résolution disponibles sur Google Terre. Augmenter la part de la régénération forestière cartographiée dans les échantillons de points de validation, nous avons classé les zones qui n'ont pas connu de régénération forestière en trois catégories : les zones persistantes, les zones non régénérées et les zones non régénérées. forêt, déboisé, non forestier persistant. Par conséquent, dans l'échantillonnage aléatoire stratifié égal, les La classe de régénération forestière a reçu environ 25 % du total des points de validation. Étant donné que la classe de régénération forestière la majorité des points classés appartiennent à la classe "pas de régénération", en choisissant le nombre de points de régénération pour la classe "pas de régénération". Les points d'échantillonnage fondés sur la proportion du nombre de pixels aboutiraient à un nombre très faible de points d'échantillonnage. de points de validation dans la classe de régénération. Par conséquent, les points de validation ont été sélectionnés sur la base sur la base d'un échantillonnage aléatoire stratifié d'un nombre égal de personnes dans chaque classe. Sur les 2500 points sélectionnés ont été utilisés pour la validation, 2141 ont été utilisés pour les tests de validation. Les autres points ont été éliminés en raison du manque d'informations disponibles pour la vérification sur le terrain : couverture terrestre ambiguë, manque de données à haute résolution, etc. disponibles, ou la couverture neigeuse (figure 6). Matrice de confusion qui évalué les erreurs d'omission et de commission ont été calculées. Toutes les procédures ont suivi les les lignes directrices en matière de bonnes pratiques fournies par Olofsson et al. (2014).



Figure 6. Les points jaunes indiquent les 2500 points qui ont été utilisés pour la validation de la méthode carte de régénération des forêts.

Des séries temporelles d'images à haute résolution disponibles sur Google Earth ont été utilisées comme base. la validation de la vérité. Les images disponibles avant 2000, au cours des années 2000 et à partir de 2015 ont été utilisées pour examiner si le point de validation répond aux trois critères utilisés dans cette étude. Plantation industrielle ont été considérées comme des fausses détections.

Tableau S7. Matrice de confusion de l'évaluation de la précision dans les domaines ayant fait l'objet d'un retour d'information.

Les points "No Regen." sont des points où il n'y a pas eu de régénération naturelle de la forêt, les points "Regen." sont des points où il n'y a pas eu de régénération naturelle de la forêt.

les points où la régénération naturelle de la forêt s'est produite. "P_Accuracy" est la valeur estimée de la régénération naturelle de la forêt.

la précision du producteur ; "U_Accuracy" est la précision estimée de l'utilisateur.

Valeur de la classe	Référence : Pas de régénération.	Référence : Regen.	Total	U_Accuracy
Prévu : Pas de Regen.	1209	36	1245	0.97
Prévu : Regen.	246	650	896	0.73
Total	1455	686	2141	0
P_Accuracy	0.83	0.95	0	0.87± 0.02

Le résultat de la validation a montré que la précision globale estimée de la carte était de 86,8± 1,5 % (tableau S7). La précision du producteur indique le faux négatif, c'est-à-dire la probabilité que le vrai virus ne soit pas détecté. les caractéristiques du terrain soient correctement représentées sur la carte. C'est la mesure de l'omission erreur.

La précision de l'utilisateur indique le faux positif, qui est la probabilité que la classe de l'objet soit la même que celle de l'utilisateur. carte étant effectivement présente sur le terrain. Il s'agit d'une erreur de commission. La raison principale car l'erreur de commission de la classe de régénération est la même que l'erreur d'omission de la classe de non-régénération. classe de régénération : les zones où la forêt a repoussé sont dues à la plantation et celles où la forêt a repoussé sont dues à la plantation et celles où elle a repoussé sont dues à la plantation. ont été classées en régénération naturelle ou assistée.

Les sources d'erreur dans l'interprétation de la vérité terrain ont été réduites au minimum en éliminant les points pour lesquels aucune image à haute résolution n'est disponible ou qui sont situés dans des zones où les terres sont ambiguës. couverture. Cependant, l'interprétation de la télédétection, même pour les images à haute résolution, est encore difficile. Il est difficile d'interpréter la régénération forestière, en particulier dans les forêts sèches ou à feuilles caduques, parce que la régénération n'est pas toujours possible. La régénération de la forêt n'est souvent pas aussi évidente. Les effets d'ombre dans les zones montagneuses rendent parfois l'interprétation difficile. Néanmoins, l'utilisation de la télédétection à haute résolution La série temporelle d'images était le meilleur outil disponible pour valider la régénération forestière cartographiée.

Afin d'examiner les zones où se concentre la régénération forestière cartographiée, nous avons créé une carte de la régénération forestière. un réseau d', dont l'aire de chaque hexagone est de 10 000km². Nous avons sélectionné les hexagones

où il y avait moins 5000 pixels, ce qui équivaut à au moins 3,1% d'un hexagone.
étant couverte par une forêt régénérée cartographiée (figure 7). Les surfaces totales de régénération utilisées dans
cette estimation de l'incertitude de la superficie était d'environ 4,4 Mha. Deux mille sept cents autres échantillons aléatoires stratifiés
répartis dans ces hexagones sélectionnés ont été utilisés pour évaluer si les forêts
La régénération s'est produite dans la zone de 250 m sur 250 m entourant les points d'échantillonnage (figure 8).
Sur ces 2700 points, 2145 ont été utilisés pour calculer l'incertitude de l'estimation de la superficie.
Lors du calcul des incertitudes, il est tenu compte des superficies des zones régénérées et non régénérées.
les pixels de régénération comme poids.



Figure 7. Distribution des 10 000 hexagones 100 km^2 où la régénération forestière a été détectée pour au moins 5000 pixels, ce qui équivaut à au moins 3,1% d'un hexagone.

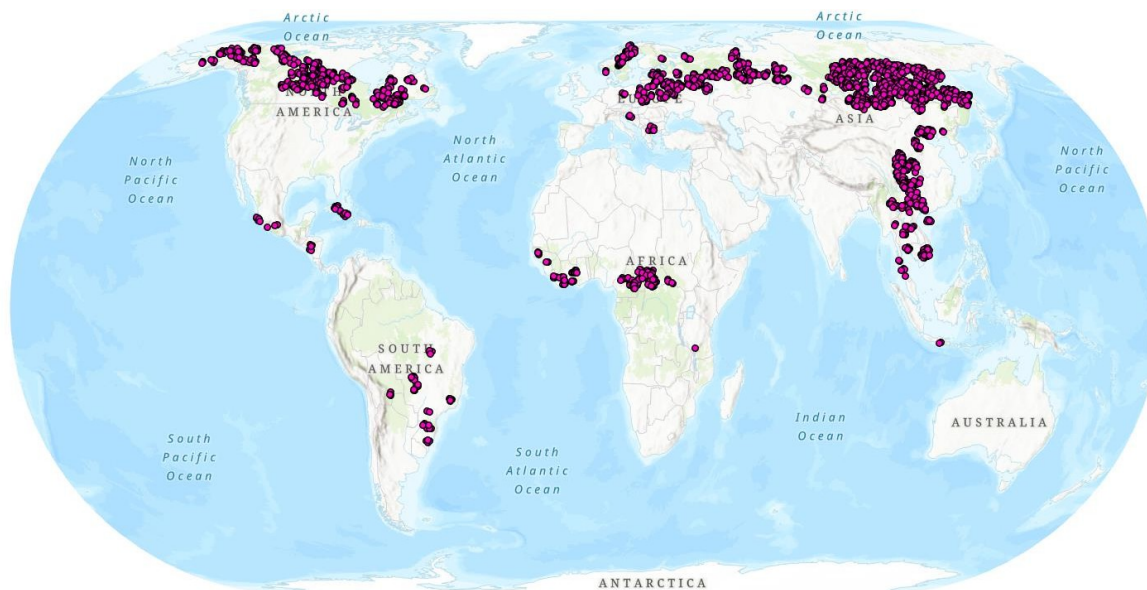


Figure 8. Distribution des 2700 points de validation répartis dans les hexagones qui contiennent plus de 3,1 % de pixels indiquant une régénération forestière.

L'estimation basée sur la superficie et les précisions sans biais sont les suivantes (tableau S8) :
Tableau S8. Résultats de l'évaluation de la précision sur la base de l'hexagone sélectionné avec plus de 3,1 % la régénération forestière cartographiée.

Valeur de la classe	Référence : Pas de régénération.	Référence : Regen.	Total	U_Accuracy
Prévu : Pas de Regen.	1068	24	1092	0.98
Prévu : Regen.	131	422	553	0.76
Total	1199	446	1645	0
P_Accuracy	0.89	0.95	0	0.91± 0.01

L'évaluation de la précision montre une précision globale de 90,6 %± 1,4 % (tableau S8).
 Pour calculer les incertitudes dans les estimations de superficie, nous avons créé une zone d'étude de 1km autour de la régénération forestière cartographiée (figures 9ab). La restriction de la zone d'échantillonnage était pour éviter l'asymétrie des valeurs d'incertitude en raison de la petite partie de la forêt cartographiée.
 régénération. Sur un total de 2 200 points d'échantillonnage aléatoire stratifié répartis dans l'ensemble de l'Union européenne, les points d'échantillonnage ont été choisis en fonction de la taille de la population.
 2020 ont été utilisées pour calculer les incertitudes dans les estimations de la zone (tableau S9).

Ces points et zones d'échantillonnage ont ensuite été répartis entre les trois régions de la zone tropicale. (entre 25°N et 25°S) pour calculer l'incertitude des estimations de la superficie des forêts dans ces régions. Les calculs sont basés sur les méthodes proposées par Olofsson et al. (2013).

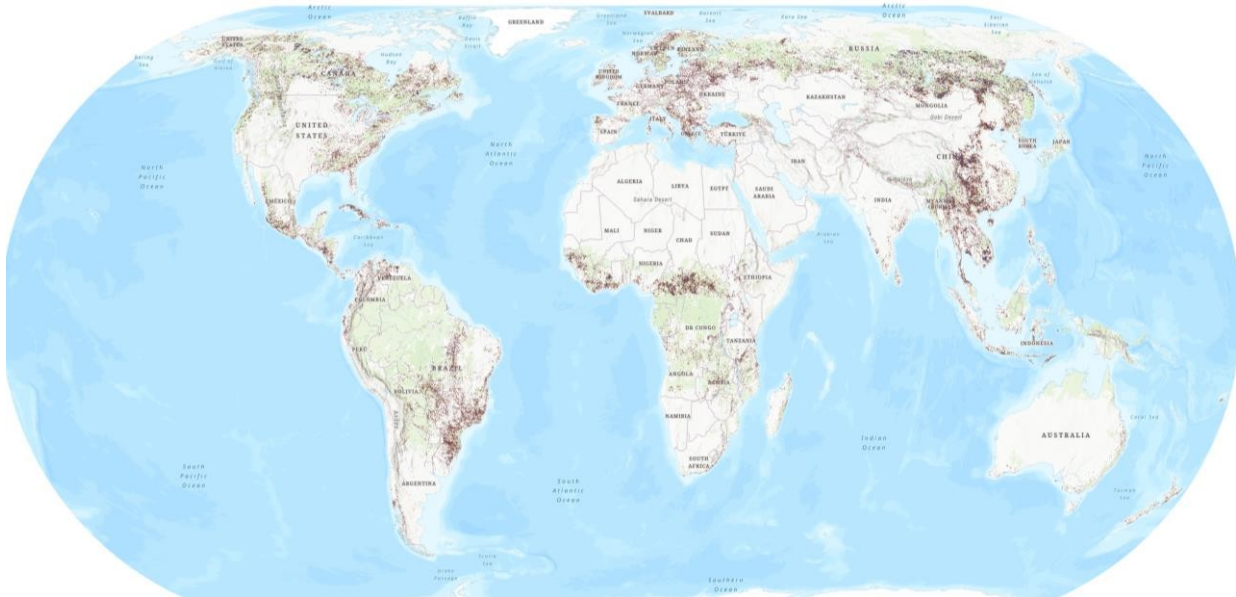


Figure 9a. Zone d'échantillonnage constituée de la régénération forestière cartographiée et de ses 1km tampon.

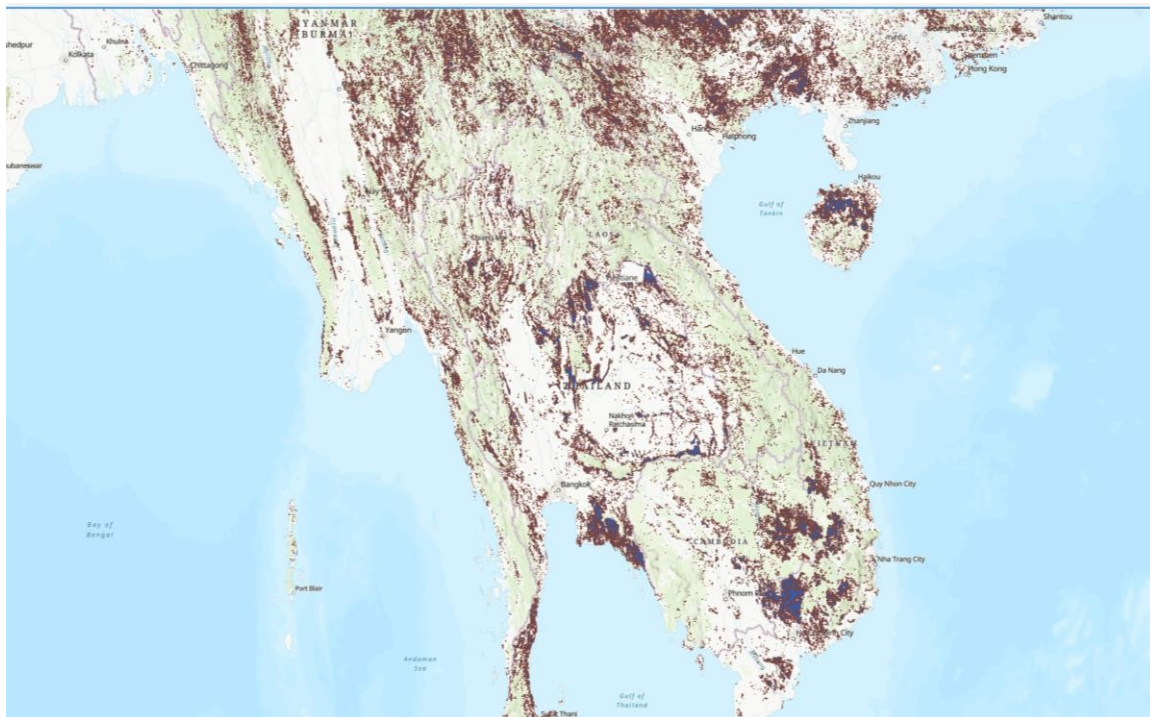


Figure 9b. Zoom sur la zone tampon (marron) et la régénération forestière cartographiée (bleu) près de la région du Mékong inférieur.

Tableau S9. Points et zones d'échantillonnage (tampon de 1 km autour de la régénération forestière cartographiée) utilisée pour calculer les incertitudes dans les estimations de surface.

	Non-Regen (ref)	Régénération (ref)	Total	Pixel	Superficie (ha)	Wi
Non Regen	1917	14	1931	117954501	805039410.5	0.935304
Regen	27	62	89	8159086	55685757.88	0.064696
Total	1944	76	2020	126113587	860725168.3	1

Section 6. Évaluation de la précision par biome

Nous avons réparti les points d'échantillonnage de validation au niveau mondial en différents biomes et avons calculé les l'incertitude associée à chaque biome pour vérifier si la détection de la régénération forestière est suffisante. a été moins performant dans certains biomes. Nous avons sélectionné les biomes pour lesquels plus de 50 tests de validation ont été effectués. et nous avons calculé la précision des estimations. Parmi , nous avons constaté que le Le biome "prairies, savanes et arbustes tropicaux et subtropicaux" est celui qui présente le plus faible taux d'émissions de gaz à effet de serre. taux de précision d'environ 78%. Toute génération de forêt se produisant dans ce biome indique une forêt qui pourrait être un indicateur d'un changement climatique ou d'une mauvaise gestion des terres.

Tableau S10. Précision globale de la régénération forestière cartographiée dans chaque biome.

Biome	Nombre de Points	Précision (%)± 95% CI
Forêts boréales/Taïga	683	85,94± 2,83
Forêts, bois et maquis méditerranéens	51	92,16± 5,66
Forêts tempérées à feuilles larges et forêts mixtes	334	84,43± 3,72
Forêts de conifères tempérées	88	89,77± 5,45
Prairies, savanes et arbustes tempérés	91	86,81± 6,19
Forêts sèches de feuillus tropicales et subtropicales	64	93,75± 4,52
Prairies, savanes et pâturages tropicaux et subtropicaux Arbustes	236	77,54± 5,16
Forêts tropicales et subtropicales humides à feuilles larges	267	86,38± 3,34
Toundra	74	98,65± 1,32

Section 7. Limitation de la télédétection

Bien que von Storch (1995) ait proposé d'appliquer le traitement de "pré-blanchiment" aux ensembles de données avant d'appliquer le test de Mann-Kendall pour évaluer la significativité des tendances afin d'éliminer l'effet d'entraînement. L'influence de la corrélation sérielle n'a pas été prise en compte dans cette étude. Premièrement, la corrélation sérielle pour les ensembles de données utilisés pour estimer la tendance à la hausse a été minimisée en annualisant la corrélation des l'ensemble de données ayant une résolution temporelle plus élevée (Forkel et al., 2013 ; Jamali et al., 2014). Deuxièmement, pour une taille de données inférieure à 50, l'impact de la non-application du traitement de "préblanchiment" aux données sérielles de l'échantillon. Les ensembles de données corrélés pourraient entraîner l'échec du rejet de l'hypothèse nulle dans la méthode de Mann-test de Kendall, ce qui signifie une surestimation potentielle du nombre de pixels ayant un impact significatif sur la qualité de l'eau. tendance croissante (von Storch, 1995). Cependant, le traitement de "pré-blanchiment" pourrait également conduire à l'augmentation du nombre d'échantillons.

la distorsion de la tendance, qui peut conduire à des résultats qui ne conviennent pas à la conservation pratique (Yue et al., 2002 ; Yue & Wang, 2002). Bien que les données relatives à la tendance croissante dans chaque pixel était de 16, cette étude étant une analyse globale, l'analyse finale n'a pas été réalisée. prendre en compte la régénération naturelle au niveau du pixel, mais les zones où une grande concentration de pixels est présente peuvent être considérées comme des zones de régénération naturelle. qui satisfont aux trois critères. Avec la grande quantité de données supplémentaires provenant de l'aspect spatial, l'influence de l'autocorrélation temporelle a également diminué. En outre, seules les grandes pentes (>0,03) des tendances ont été sélectionnées dans cette étude, de sorte qu'un traitement de "pré-blanchiment" n'a pas été nécessaire dans le cadre de l'étude. afin d'éviter une perte significative du pouvoir d'explication du test de Mann-Kendall (Bayazit & Önöz, 2007).

Section 8. Calcul du nombre total d'arbres et de la biomasse

Le nombre total d'arbres régénérés a été calculé en fonction du biome et de l'âge de l'arbre. modèles de prédiction de la densité des arbres au niveau de l'écorégion (Crowther et al., 2015a). Les cartes de la Un certain nombre d'arbres ont pu être téléchargés (Crowther et al., 2015b). La résolution des La résolution de la carte de l'Union européenne est de 897,3 mètres, où chaque pixel indique le nombre d'arbres. La résolution des cartes a été réduite à celle d'une carte binaire globale de la régénération forestière et à celle d'une carte binaire globale de l'état des forêts. divisé par le nombre de pixels contenus dans les pixels plus grands : Supposons qu'il y ait un nombre N de d'arbres dans un pixel avec une résolution de X , tout comme la situation de la carte de densité d'arbres de Crowther et al. (2015b). Dans ce cas, il y a des pixels plus petits avec une résolution de Y qui se superposent aux pixels plus grands. pixel. Cela représente la carte de régénération binaire la plus petite, comme le montre la figure 10.

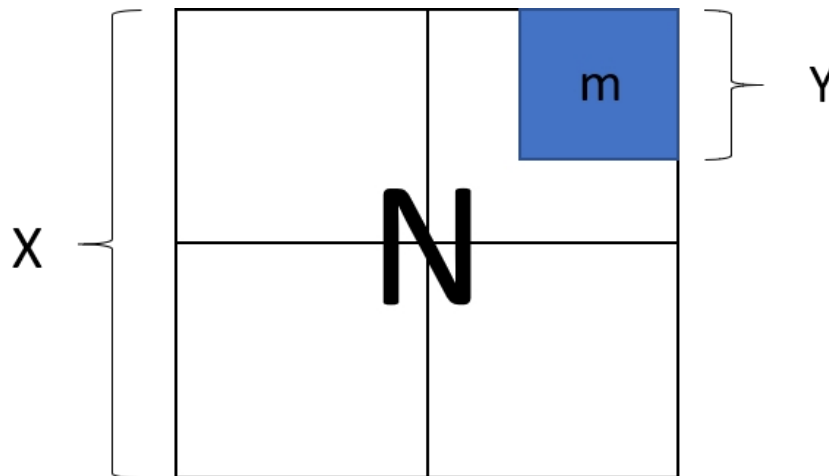


Figure 10.

L'équation suivante (1) a été utilisée pour déterminer le nombre d'arbres répartis dans la zone d'étude. résolution plus élevée de l'image binaire (m) :

$$N/X^2 = m/Y^2$$

$$m = N \div X^2/Y^2 \quad (1)$$

Dans le cas où le pixel le plus petit chevauche plus d'un pixel le plus grand de l'arbre La valeur de m a été calculée en pondérant N par la proportion de la carte de la densité de la population. de la carte de densité des arbres se chevauchent. La carte de densité forestière rééchantillonnée a été multipliée par la carte binaire de régénération forestière. Le nombre total d'arbres dans la forêt régénérée était de

calculée en additionnant toutes les valeurs des pixels dans les deux produits. Les résultats ont été fournis sous la forme d'une gamme : basée sur la carte de densité des arbres prévue au niveau du biome et au niveau de l'écorégion. La superficie des forêts régénérées dans chaque continent-biome a également été calculée. multipliée par la densité de biomasse du biome-continent correspondant pour obtenir la biomasse aérienne de la forêt nouvellement régénérée. Les scénarios étaient les suivants : si toutes les forêts régénérées étaient naturelles ou si toute la forêt régénérée était une plantation. La biomasse régénérée en de différents biomes sur différents continents a été calculée sur la base de la biomasse résultant de l'utilisation de l'eau. forêt naturelle ou plantation. Valeurs de la densité de la biomasse (tonnes de masse séchée par hectare) pour les forêts générées par la régénération naturelle et la plantation ont été fournies dans la plupart des zones écologiques de la FAO. mais varient selon les continents (Domke et al., 2019). La carte de la zone mondiale de la FAO Les zones écologiques ont été obtenues sur le site GeoNetwork de l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). (2013). La carte des zones écologiques a été recoupée avec le continent mondial pour obtenir les carte de la zone écologique séparée par continent. Les valeurs de densité de biomasse des arbres plus jeunes âgés de plus de 20 ans, issus d'une régénération naturelle ou d'une plantation, ont été introduits. dans le continent-biome correspondant. La valeur de la densité de biomasse de la forêt naturelle était de Le nombre exact a été fourni, tandis que celui de la forêt de plantation a été fourni pour la partie inférieure et la partie supérieure de la forêt de plantation. les extrémités supérieures de la fourchette. Par conséquent, les estimations de la biomasse pour chaque biome-continent étaient les suivantes Les données fournies sont une estimation exacte pour la forêt naturelle et les extrémités inférieure et supérieure de la fourchette pour le bois de feuillus. les forêts de plantation. Pour les biomes continentaux pour lesquels les valeurs de biomasse n'ont pas été fournies, tels que le différents types de forêts en Australie, les valeurs de biomasse de la forêt océanique de l'Océanie ont été utilisés.

Section 9. Analyse de l'aptitude à l'agriculture

Comprendre si le degré d'aptitude agricole d'une terre peut influencer la forêt. régénération, nous avons superposé la carte de la régénération forestière à la carte de la pente et à la carte de l'agriculture. développé par Ramankutty et al. (2002) pour chaque région du monde. Le monde a été divisé en 20 régions (figure 11). Le Mexique a été inclus dans la région l'Amérique centrale. Des analyses ont été effectuées pour les principales régions : Russie asiatique, Europe, Asie du Sud-Est, Afrique subsaharienne, Asie de l'Est, Amérique du Sud, Australie/Nouvelle-Zélande, Amérique du Nord, Europe du Nord, Caraïbes et Amérique centrale. Nous avons émis l'hypothèse que la régénération forestière avait plus de chances de se produire dans des endroits moins convenant à l'agriculture. Pour tester cette hypothèse, nous avons superposé la carte de la régénération forestière à la carte de l'agriculture. des cartes des pentes et de l'aptitude des sols. La carte d'aptitude des sols a été élaborée sur la base d'un indice dérivé de données climatiques et pédologiques. Plus la valeur de l'indice est élevée, plus la zone est propice à l'agriculture. l'agriculture. Nous avons représenté le nombre de pixels de régénération forestière en fonction de l'indice d'aptitude des sols comme suit un diagramme à barres pour chaque région (figure S2), ainsi que par rapport à la pente (figure S1).

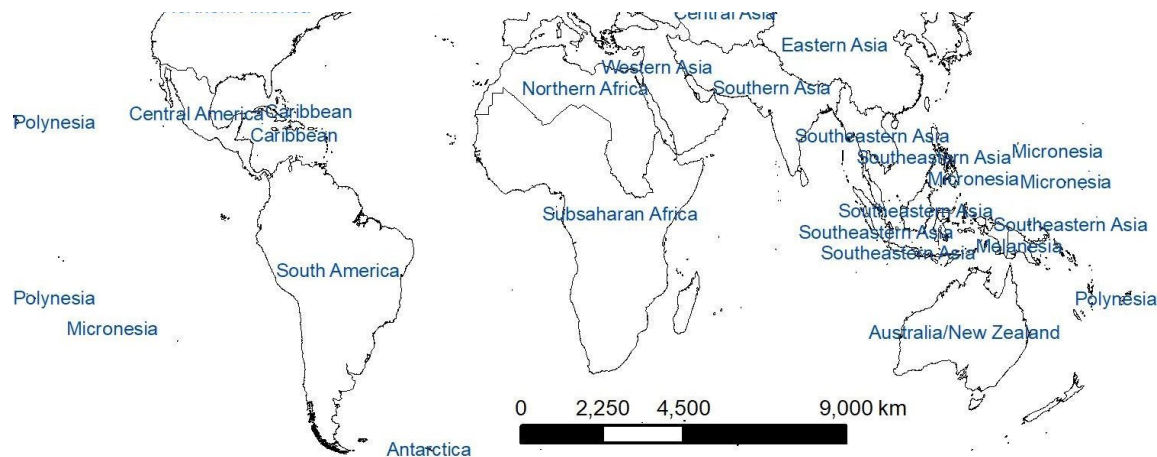


Figure 11. Régions mondiales pour l'analyse de l'aptitude à l'agriculture.

Section 10. Classification des écorégions

Analysé le niveau de référence où la forêt a repoussé à l'endroit approprié et le niveau de référence où la forêt a repoussé à l'endroit approprié et le niveau de référence où la forêt a repoussé.

Pourcentage d'empiètement possible de la forêt sur d'autres biomes non forestiers, la classification plus fine des biomes non forestiers.

Les écorégions développées par The Nature Conservancy ont été utilisées (TNC, 2009). Dans cette étude, nous avons défini Les écorégions où il y a des forêts sont considérées comme des écorégions forestières, sur la base de leurs descriptions. Par , les écorégions montagnardes où la forêt n'existe qu'en dessous de la limite des arbres seraient considérées comme une forêt écorégion. Certaines de ces écorégions montagnardes sont dégradées et présentent un faible couvert forestier. En conséquence, les l'augmentation de la couverture arborée peut signifier soit la restauration de l'écorégion, soit la migration des arbres. à une altitude plus élevée en raison du réchauffement climatique. Les écorégions constituées en grande partie de zones non forestières ou ne comportant qu'une faible proportion de forêts, sont en voie de disparition. peu d'arbres ou des prairies à canopée ouverte ont été classées comme écorégions non forestières. Ce type d'écorégions binaires La classification des écorégions peut être subjective, mais l'objectif était d'avoir une idée générale pour comprendre le fonctionnement des écorégions.

le pourcentage de forêts régénérées dans les écorégions forestières et le pourcentage de forêts régénérées dans les écorégions forestières. forêt qui était susceptible d'être empiétée. Notez que la définition des écorégions est très dynamique et les changements dans le . Veuillez vous référer à l'[ensemble de données S5](#) pour la classification des forêts et des zones non forestières. écorégions.

Section 11. Distribution de la différence de coût d'opportunité agricole

L'opportunité agricole moyenne a été calculée pour les endroits où la régénération forestière s'est produite et pour ceux où elle s'est produite.

n'a pas été le cas pour chaque pays. L'hypothèse était que la régénération forestière se produisait là où l'agriculture

Le coût d'opportunité est moins élevé que dans les pays où il n'y a pas eu de changement. Pour chaque pays, nous avons soustrait la moyenne des coûts d'opportunité de l'impôt sur le revenu des personnes physiques de l'impôt sur le revenu.

le coût d'opportunité agricole de l'endroit où la régénération forestière a eu lieu par rapport à l'endroit où elle n'a pas eu lieu. Les résultats

étaient tous positifs (figure 12), ce qui confirme l'hypothèse selon laquelle la régénération de la forêt a eu lieu là où les arbres ont été plantés.

le coût d'opportunité pour l'agriculture était moindre. La différence se situe entre moins de 1 cent par hectare pour atteindre 773 USD/ha. La moyenne de la différence était de 126 USD/ha.

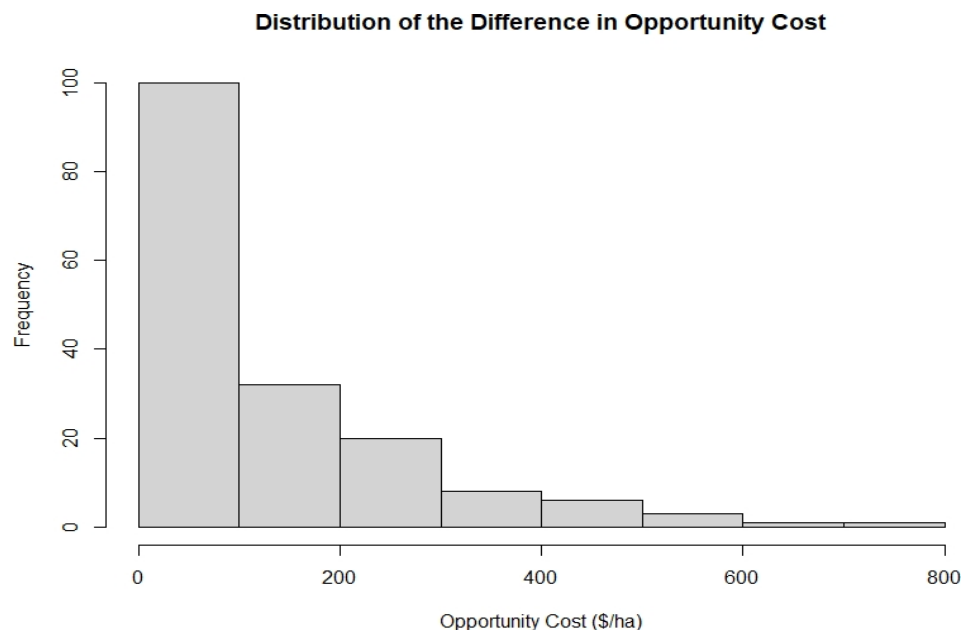


Figure 12. Distribution de la différence de coût d'opportunité moyen entre les sites n'ayant pas de la régénération forestière s'est produite et où elle 'est produite.

Référence SI

- Asner, G.P., Scurlock, J.M. et A. Hicke, J., 2003. Synthèse globale des observations de l'indice de surface foliaire : implications pour les études écologiques et de télédétection. *Global Ecology and Biogeography*, 12(3), pp.191-205.
- Baccini, A., Goetz, S. J., Walker, W. S., Laporte, N. T., Sun, M., Sulla-Menashe, D., Hackler, J., Beck, P. S. A., Dubayah, R., Friedl, M. A., Samanta, S. et Houghton, R. A. (2012). Estimation du dioxyde de carbone de la déforestation tropicale améliorée par les cartes de densité de carbone. *Nature*, 2, 182-185.
- Barr, A.G., Black, T.A., Hogg, E.H., Kljun, N., Morgenstern, K. et Nesic, Z., 2004. Inter-annual variability dans l'indice de surface foliaire d'une forêt boréale de trembles et de noyers en relation avec la production nette de l'écosystème. *Météorologie agricole et forestière*, 126(3-4), pp.237-255.
- Bayazit, M. et Önöz, B., 2007. To prewhiten or not to prewhiten in trend analysis ? *Hydrologique Sciences Journal*, 52(4), pp.611-624.
- Beaudoin, A., Bernier, P. Y., Villemaire, P., Guindon, L., & Guo, X. J. 2017. Composition des espèces, forêt propriétés et types de couverture terrestre dans les forêts canadiennes à une résolution de 250 m pour 2001 et 2011. <https://doi.org/10.23687/ec9e2659-1c29-4ddb-87a2-6aced147a990>. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre forestier des Laurentides, Québec, Canada.
- Camps-Valls, G., Campos-Taberner, M., Moreno-Martínez, Á., Walther, S., Duveiller, G., Cescatti, A., Mahecha, M.D., Muñoz-Marí, J., García-Haro, F.J., Guanter, L. et Jung, M., 2021. Une végétation unifiée pour quantifier la biosphère terrestre. *Science Advances*, 7(9), p.eabc7447.
- Carroll, M., Townshend, J., Hansen, M., DiMiceli, C., Sohlberg, R. et Wurster, K., 2010. MODIS conversion de la couverture végétale et champs continus de végétation. Dans *Land Remote Sensing and Global Environmental Change* (pp. 725-745). Springer, New York, NY.

Chambers, J.Q., Asner, G.P., Morton, D.C., Anderson, L.O., Saatchi, S.S., Espirito-Santo, F.D., Palais, M. et Souza Jr, C., 2007. Regional ecosystem structure and function : ecological insights from remote sensing of tropical forests. *Trends in Ecology & Evolution*, 22(8), pp.414-423.

Crowther, T.W., Glick, H.B., Covey, K.R., Bettigole, C., Maynard, D.S., Thomas, S.M., Smith, J.R., Hintler, G., Duguid, M.C., Amatulli, G. et Tuanmu, M.N., 2015. Cartographie de la densité des arbres à l'échelle mondiale. *Nature*, 525(7568), pp.201-205.

Crowther, T., Glick, H., Covey, K., Covey, K.R., Bettigole, C., Maynard, D.S., Thomas, S.M., Smith, J.R., Hintler, G., Duguid, M.C., Amatulli, G. et Tuanmu, M.N., 2015. https://elischolar.library.yale.edu/yale_fes_data/1 (consulté le : 2020-2-19).

Dias, T.C., Silveira, L.F., Pironkova, Z.I. et Francisco, M.R., 2022. Tendances au verdissement et au brunissement dans un hotspot de forêt tropicale : Prise en compte de la taille des fragments et des indices de végétation. *Télédétection Applications : Society and Environment*, 26, p.100751.

Didan, K. (2015). MOD13Q1 MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid V006. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD13Q1.006>. NASA EOSDIS Land Processes DAAC.

DiMiceli, C., Carroll, M., Sohlberg, R., Kim, D., Kelly, M. et Townshend, J. 2017. MOD44B MODIS/Terra Végétation Champs continus Annuellement L3 Global 250m SIN Grid V006. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD44B.006>. NASA EOSDIS Land Processes DAAC.

Agence européenne pour l'environnement (2019). Copernicus Land Monitoring Service - Corine Land Cover. https://www.eea.europa.eu/ds_resolveuid/ecb838dabf4849838ba5f3dc81ca6b0e. Consulté le : 2020-1-10.

Agence spatiale européenne (2018). Carte LC prototype S2 à 20m de l'Afrique 2016. https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2017/10/African_land_cover. Consulté le : 2019-12-25.

Agence spatiale européenne (2019). Projet de couverture terrestre de l'initiative sur le changement climatique de l'ESA. <http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download.php>. Consulté le : 2019-12-25.

Feng, M., Sexton, J.O., Huang, C., Masek, J.G., Vermote, E.F., Gao, F., Narasimhan, R., Channan, S., Wolfe, R.E. et Townshend, J.R., 2013. Produits de réflectance de surface globale à partir de Landsat : Assessment en utilisant des observations MODIS coïncidentes. *Télédétection de l'environnement*, 134, pp.276-293.

Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) GeoNetwork. 2013. Zones écologiques mondiales (deuxième édition). <http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/main.home?uuid=2fb209d0-fd34-4e5e-a3d8-a13c241eb61b>. Consulté le : 2020-2-19.

Gilbert, R.O., 1987. Statistical methods for environmental *pollution monitoring* (Méthodes statistiques pour la surveillance de la pollution de l'environnement). John Wiley & Sons. Gocic, M. et Trajkovic, S., 2013. Analyse des changements dans les variables météorologiques en utilisant Mann-Kendall et Tests statistiques de l'estimateur de la pente de Sen en Serbie. *Global and Planetary Change*, 100, pp.172-182.

Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S., Goetz, S., Loveland, T. R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C., & Townshend, J. (2013). Cartes mondiales à haute résolution du changement de la couverture forestière au 21e siècle. *Science*, 342 (6160), 850-853.

Jaafar, H.H., Ahmad, F.A. et El Beyrouthy, N., 2019. GCN250, new global gridded curve numbers for la modélisation et la conception hydrologiques. *Données scientifiques*, 6(1), pp.1-9.

Jarchow, C., Didan, K., Barreto-Muñoz, A., Nagler, P. et Glenn, E., 2018. Application et comparaison de l'indice de végétation amélioré dérivé de MODIS aux plateformes VIIRS, Landsat 5 TM et Landsat 8 OLI : A étude de cas dans le delta aride de la rivière Colorado, au Mexique. *Sensors*, 18(5), p.1546.

635 Jensen, J.R., 2009. *Remote sensing of the environment : An earth resource perspective 2/e*. Pearson

636 L'éducation en Inde.

637 Jin, H. et Eklundh, L., 2014. Un indice de végétation basé sur la physique pour une meilleure surveillance des plantes.

638 phénologie. *Télédétection de l'environnement*, 152, pp.512-525.

639 Ju, J., Roy, D.P., Vermote, E., Masek, J. et Kovalsky, V., 2012. Continental-scale validation of MODIS-

640 et les méthodes de correction atmosphérique LEDAPS Landsat ETM+. *Télédétection de l'environnement*,

641 122, pp.175-184.

642 Karkauskaite, P., Tagesson, T. et Fensholt, R., 2017. Évaluation de l'indice phénologique des plantes (IPP),

643 NDVI et EVI pour l'analyse des tendances en début de saison dans la zone boréale de l'hémisphère nord. *A distance*

644 *Sensing*, 9(5), p.485.

645 Kendall, M.G. 1975. Rank Correlation Methods, 4e édition, Charles Griffin, Londres.

646 Loboda, T. V. & Chen, D. (2016). Distribution des jeunes forêts et estimation de l'âge des peuplements à travers la Russie,

647 2012. <http://dx.doi.org/10.3334/ORNLDAAAC/1330>. ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, États-Unis.

648 Lund, H.G., 2002. Quand une forêt n'est-elle pas une forêt ? *Journal of Forestry*, 100(8), pp.21-28.

649 Projet MapBiomias (2019). Collection 4 des cartes annuelles d'occupation du sol.

650 https://mapbiomas.org/en/download?cama_set_language=en. Consulté le : 2019-12-2.

651 Mann, H.B. 1945. Non-parametric tests against trend, *Econometrica* 13:163-171.

652 Masek, J.G., Vermote, E.F., Saleous N.E., Wolfe, R., Hall, F.G., Huemmrich, K.F., Gao, F., Kutler, J., et

653 Lim, T-K. (2006). A Landsat surface reflectance dataset for North America, 1990-2000. *IEEE Geoscience*

654 *and Remote Sensing Letters* 3(1):68-72. <http://dx.doi.org/10.1109/LGRS.2005.857030>.

655 Matsushita, B., Yang, W., Chen, J., Onda, Y. et Qiu, G., 2007. Sensitivity of the enhanced vegetation

656 (EVI) et de l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) aux effets topographiques : une étude de cas en

657 forêt de cyprès à haute densité. *Sensors*, 7(11), pp.2636-2651.

658 Montesano, P.M., Nelson, R., Sun, G., Margolis, H., Kerber, A. et Ranson, K.J., 2009. MODIS tree

659 validation de la couverture pour la zone de transition circumpolaire entre la taïga et la toundra. *Télédétection de l'environnement*, 113

660 (10), pp.2130-2141.

661 Moreno, A., Neumann, M. et Hasenauer, H. (2017). Structures forestières à travers l'Europe. *Données géoscientifiques*

662 *Journal*, 4, 17-28.

663 Myneni, R., Knyazikhin, Y. et Park, T. (2015). MCD15A2H MODIS/Terra+Aqua Leaf Area Index/FPAR 8-

664 jour L4 Global 500m SIN Grid V006. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MCD15A2H.006>. NASA EOSDIS

665 Processus fonciers DAAC.

666 Nanni, A. S., Sloan, S., Aide, T. M., Graesser, J., Edwards, D. et Grau, H. R. (2019). L'écosystème néotropical

667 les points chauds de la reforestation : Une typologie biophysique et socio-économique de l'expansion forestière contemporaine.

668 *Global Environmental Change*, 54, 148-159.

669 Olofsson, P., Foody, G.M., Herold, M., Stehman, S.V., Woodcock, C.E. et Wulder, M.A., 2014. Bon

670 pour l'estimation de la superficie et l'évaluation de la précision des changements fonciers. *Télédétection de l'environnement*,

671 148, pp.42-57.

672 Olofsson, P., Foody, G.M., Stehman, S.V. et Woodcock, C.E., 2013. Mieux utiliser les données de précision
673 dans les études sur les changements fonciers : Estimation de la précision et de la superficie et quantification de l'incertitude à l'aide d'une
674 méthode stratifiée. *Télédétection de l'environnement*, 129, pp.122-131.

675 Pan, Y., Chen, J., Birdsey, R., McCullough, K., He, L. et Deng, F. (2012). Cartes d'âge des forêts du PNCA à 1 km
676 Résolution pour le Canada (2004) et les États-Unis. <https://doi.org/10.3334/ORNLDAAAC/1096>. ORNL DAAC,
677 Oak Ridge, Tennessee, États-Unis.

678 Pettorelli, N., 2013. L'indice de végétation par différence normalisée. Oxford University Press.

679 Poorter, L., Bongers, F., Aide, T. M., Zambrano, A. M. A., Balvanera, P., Becknell, J. M., Boukili, V.,
680 Brancalion, P. H., Broadbent, E. N., Chazdon, R. L., et al. (2016). Biomass resilience of Neotropical
681 forêts secondaires. *Nature*, 530 (7589), 211-214.

682 Potapov, P., Tyukavina, A., Turubanova, S., Talero, Y., Hernandez-Serna, A., Hansen, M. C., Saah, D.,
683 Tenneson, K., Poortinga, A., Aekakkararungroj, A., Chishtie, F., Towashiraporn, P., Bhandari, B., Aung,
684 K. S., & Nguyen, Q. H. 2019. Champs continus annuels de la structure de la végétation ligneuse dans le Lower
685 région du Mékong à partir des séries temporelles Landsat 2000-2017. *Remote Sensing of Environment*, 232, 111278.

686 Ramankutty, N., Foley, J.A., Norman, J. et McSweeney, K., 2002. La répartition mondiale des espèces cultivables
687 terres : schémas actuels et sensibilité à un éventuel changement climatique. *Écologie mondiale et biogéographie*,
688 11(5), pp.377-392.

689 Reymondin, L., Jarvis, A., P'erez-Urbe, A., Touval, J., Argote, K., Coca, A., Rebetez, J., Guevara, E. D.,
690 & Mulligan, M. (2012). Une méthodologie pour le suivi en temps quasi réel des changements d'habitat à l'échelle continentale.
691 en utilisant MODIS-NDVI et TRMM. <http://www.terra-i.org/terra-i/publications.html>. Données disponibles à l'adresse suivante :
692 <http://www.terra-i.org/terra-i/data.html>. Consulté le : 2019-2-15.

693 Sen, P (1968). Estimation du coefficient de régression basée sur le Tau de Kendall. *J Am Stat Assoc* 39:1379-
694 1389.

695 Sexton, J.O., Noojipady, P., Song, X.P., Feng, M., Song, D.X., Kim, D.H., Anand, A., Huang, C.,
696 Channan, S., Pimm, S.L. et Townshend, J.R., 2016. Conservation policy and the measurement of
697 forêts. *Nature Climate Change*, 6(2), p.192.

698 Sexton, J. O., Song, X.-P., Feng, M., Noojipady, P., Anand, A., Huang, C., Kim, D.-H., Collins, K.M.,
699 Channan, S., DiMiceli, C., Townshend, J.R.G. 2013. Champs continus d'arbres à une résolution de 30 m à l'échelle mondiale
700 couverture : Remise à l'échelle des champs continus de végétation MODIS à partir de Landsat avec des estimations lidar de la couverture
701 végétale. *International Journal of Digital Earth*, 130321031236007. doi:10.1080/17538947.2013.78614

702 Shimada, M., Itoh, T., Motooka, T., Watanabe, M., Shiraishi, T., Thapa, R. et Lucas, R. (2014). New
703 Cartes mondiales des forêts et des zones non forestières à partir des données PALSAR d'ALOS (2007-2010). *Télédétection de
704 l'environnement*, 155, 13-31.

705 Thenkabail P.S., Knox J.W., Ozdogan, M., Gumma, M.K., Congalton, R.G., Wu, Z., Milesi, C., Finkral, A.,
706 Marshall, M., Mariotto, I., You, S. Giri, C. et Nagler, P. 2012. Évaluation des risques futurs pour l'agriculture
707 productivité, ressources en eau et sécurité alimentaire : comment la télédétection peut-elle aider ? *Photogrammétrie
708 Engineering and Remote Sensing*, August 2012 Special Issue on Global Croplands : Highlight Article.
709 78(8) : 773-782.

710 The Nature Conservancy, 2009. TNC - Écorégions terrestres. Données disponibles à l'adresse suivante :
711 <http://maps.tnc.org/files/metadata/TerrEcos.xml> Accès : 2021-04-23.

712 Ueyama, M., Iwata, H., Harazono, Y., Euskirchen, E.S., Oechel, W.C. et Zona, D., 2013. Growing
713 variations saisonnières et spatiales des flux de carbone des écosystèmes arctiques et boréaux en Alaska (USA).
714 *Ecological Applications*, 23 (8), pp.1798-1816.

715 CCNUCC (2002). Rapport de la Conférence des Parties sur sa septième session, tenue à Marrakech du 1er au 3 décembre 2002, sur la base de
 l'expérience acquise dans le cadre de la Convention.
 716 29 octobre-10 novembre 2001. Deuxième partie de l'addendum : Mesures prises par la conférence des parties
 717 Volume II (FCCC/CP/2001/13/Add. 1). Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques
 718 Secrétariat, Bonn, Allemagne.
 719 Verchot, L.V., Zomer, R., Van Straaten, O. et Muys, B., 2007. Implications des décisions prises au niveau national en matière de
 720 la spécification de la couverture des couronnes dans la définition des forêts pour les terres éligibles au boisement, et
 721 les activités de reboisement dans le cadre du MDP. *Changement climatique*, 81 (3-4), pp.415-430.
 722 Vermote, E., Justice, C., Claverie, M., & Franch, B. (2016). Analyse préliminaire de la performance du
 723 Produit de réflectance de la surface terrestre Landsat 8/OLI. *Remote Sensing of Environment*, 185, 46-56.
 724 von Storch, H. (1995), Misuses of statistical analysis in climate research, in Analysis of Climate Variability
 725 Applications of Statistical Techniques, édité par H. von Storch et A. Navarra, Springer, New York.
 726 Wang, S., Lu, X., Cheng, X., Li, X., Peichl, M. et Mammarella, I., 2018. Limites et défis de l'utilisation des
 727 Métriques phénologiques dérivées de MODIS dans différents paysages des régions pan-arctiques. *Les mesures phénologiques à distance*
 728 *Sensing*, 10(11), p.1784.
 729 Wang Zhengxing, Liu Chuang, Chen Wenbo, Lin Xin. Comparaison préliminaire des données MODIS-NDVI et
 730 MODIS-EVI en Asie de l'Est [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2006, 31(5) :
 731 407-410.
 732 Wei, S.U., YU, D.Y., SUN, Z.P., ZHAN, J.G., LIU, X.X. et Qian, L.U.O., 2016. Vegetation changes in the
 733 dans les zones agricoles et pastorales du nord de la Chine de 2001 à 2013. *Journal of Integrative Agriculture*, 15(5),
 734 pp.1145-1156.
 735 Wu, C., Gonsamo, A., Gough, C. M., Chen, J. M. et Xu, S. (2014). Modélisation de la phénologie de la saison de croissance en
 736 Les forêts nord-américaines à l'aide des indices de végétation moyens saisonniers de MODIS. *Téledétection des*
 737 *Environnement*, 147, 79-88.
 738 Zhu, Z., Piao, S., Myneni, R.B., Huang, M., Zeng, Z., Canadell, J.G., Ciais, P., Sitch, S., Friedlingstein, P.,
 739 Arneth, A. et Cao, C., 2016. L'écologisation de la Terre et ses moteurs. *Nature Climate Change*, 6(8), p.791.
 740
 741